

# **SKRIPSI**

## **ANALISIS SISTEM KONTROL *SERVO* HIDROLIK Pada MESIN *SEMI SOLID METAL FORGING* RANCANGAN *BPPT-MEPPPO***



*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan  
Pendidikan Tingkat Sarjana (S-1) pada Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Bengkulu*

**OLEH:**

**INDRA SUMARWIJAYA SIAGIAN**  
**G1C008007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BENGKULU  
2014**

## HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi ini yang mengambil topik sistem kontrol dengan judul “**Analisis Sistem Kontrol Servo Hidrolik Pada Mesin Semi Solid Metal Forging Rancangan Bppt-Meppo**” tidak terdapat karya yang sebelumnya pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis sebagai acuan di dalam naskah dan buku sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka.



Bengkulu, Maret 2014

Indra Sumarwijaya Siagian

NPM : G1C008007











## MOTO

”Tidak Ada Manusia Yang Terlahir Bodoh, Yang Ada Hanya Manusia Yang Tidak Tahu. Yang Paling Penting Adalah Kemauan Untuk Mencari Tahu Agar Tidak Menjadi Bodoh. Untuk Menjadi Mahir Itu Waktu Yang Menentukan”

(**IR. NASRIL, M.T.**)

## PERSEMBAHAN

Skripsi Ini Kupersembahkan Kepada

-  Bangsa dan Negaraku **Republik Indonesia**
-  Bapakku **J.B. Siagian** dan Mamakku **Elsih Setiati** yang selalu menyayangi, mendoakan dan menasehati di sepanjang hidupku dan selalu bertanya kapan wisuda yang menjadi semangat ku untuk mengerjakan skripsi ini.
-  **Dosen Teknik Mesin UNIB** yang selalu memberi ilmu kepada ku.
-  Adek ku **Raja Aditya Sahala Siagian** semoga skripsi ini sebagai contoh yang baik untuk mu.
-  **Devi Riahna Sinulingga** yang selalu memberi semangat dan perhatiannya kepadaku.
-  Teman-teman seperjuangan **TM'08**.
-  **Abang-abang senior teknik Mesin**, dan **adek-adek junior Teknik Mesin UNIB**
-  **Guru-guruku di SDN No. 99 Kota Bengkulu**. Yang Membuka mata ku akan indahnya ilmu pengetahuan.
-  **Guru-guruku di SMP N No. 4 Kota Bengkulu**. Yang Menuntun Langkah Awal ku untuk mempelajari Ilmu Pengetahuan.
-  **Guru-guruku di SMA N No. 5 Kota Bengkulu**. Yang Membimbing aku untuk mengarungi ilmu pengetahuan.

## KATA PENGANTAR

Hormat dan Kemuliaan Bagi Tuhan Yang Maha Esa yang telah menyertai dan memberikan Kasih Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Sistem Kontrol Servo Hidrolik Pada Mesin Semi Solid Metal Forging Rancangan Bppt-Meppo**”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Bengkulu. Dalam penyusunan skripsi ini penulis dibantu dan didukung oleh berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bpk. Dr. Ing Michael Purwoadi Selaku Kepala Balai Mesin Perkakas Produksi dan Otomasi (MEPPO) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan penelitian disana.
2. Bpk. Ir. Nasril, M.T. Sebagai Kepala Lab. Mesin Perkakas MEPPO-BPPT yang telah membimbing dan memotivasi penulis baik itu saat penelitian, penulisan dan nasehat menjadi engineer yang baik untuk memajukan Bangsa dan Negara ini.
3. Bpk. Dr. Eng. Hendra, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing Utama, yang telah membimbing serta menawarkan penelitian di MEPPO-BPPT kepada saya dan juga dengan penuh kesabaran memberikan nasehat dan koreksi dalam penulisan skripsi ini.
4. Bpk. Hendri Van Hoten ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing Pendamping, yang telah membimbing dengan penuh kesabaran untuk memberikan nasehat dan koreksi dalam penulisan skripsi ini.
5. Bpk. Erinofiardi ST.MT. selaku dosen Pembimbing Akademik dan dosen penguji, yang member motivasi arahan dan nasehat selama perkuliahan.
6. Bpk. Agus Nuramal ST.MT. selaku ketua penguji yang telah meluangkan waktunya untuk mengoreksi skripsi ini.
7. Seluruh Dosen ditekhnik mesin UNIB yang telah memberi Ilmu yang berguna bagi penulis.
8. Bpk. Iwan Istanto,ST., Bpk. Albertus Rianto, MT, Bpk. Galuh Prihantoro, ST., Bpk. Dito Eka, ST., Bpk. Toufiquir Rohman, ST., Bpk. Junianto, ST.,

Bpk. Ahmad Musthofa, MT, Bpk. Abudin dan Bpk Dul yang memberi pengetahuan dan tambahan ilmu mengenai skripsi ini.

9. Mas Yanyan Nurhidayat (avacheboy), Mas Mushar, Mas Arda. Yang mau menjadi tutor dan sahabat selama di MEPPPO.
10. Mbak Hesti sebagai staf Prodi. Teknik Mesin yang telah membantu surat menyurat demi kelancaran studi penulis.
11. Teman-teman seperjuangan saat penelitian di MEPPPO Yudi Irawan, Deni Ardiyansah dan Fulgensius.
12. Teman-teman Fakultas Teknik yang memberi dukungan hingga terselesaikannya skripsi ini.
13. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan informasi.

Penulis menyadari dalam skripsi ini masih terdapat kekurangan baik dari segi materi maupun sistematika penulisannya, hal ini dikarenakan masih terbatasnya kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun sebagai sarana untuk lebih menyempurnakan penulisan dikemudian hari. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua pihak.

Bengkulu, Maret 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN SOAL TUGAS AKHIR .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan dan Manfaat .....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II. DASAR TEORI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Proses Pembentukan Logam .....	4
2.1.1. Rolling.....	4
2.1.2. Drawing.....	5
2.1.3. Ekstrusi.....	5
2.1.4. Forging .....	6
2.2. Semi Solid Metal Forging .....	6
2.3. Sistem Kerja Hidrolik .....	8
2.4. Model Matematika Sistem Fisik Servo Hidrolik .....	10
2.5. Respon Waktu Sistem Kontrol.....	16
2.5.1. Masukan Step .....	16
2.5.2. Masukan Ramp .....	17
2.6. Metode Respon Frekuensi.....	17

<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	19
3.2. Alat dan Bahan Percobaan .....	20
3.3. Metode Pengambilan Data .....	21
3.3.1. Pengambilan Data Eksperimen .....	21
3.3.2. Pengambilan Data Simulasi Numerik .....	22
3.3.3. Penentuan Nilai Th (Konstanta Waktu Hidrolik) .....	25
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1. Hasil .....	27
4.2.1. Data Hasil Percobaan Variabel Kpos .....	27
4.2.2. Data Hasil Percobaan Variabel Ki .....	32
4.2.3. Data Hasil Percobaan Variabel Kp .....	37
4.2. Pembahasan.....	40
4.3. Optimasi Perpindahan Posisi <i>Plant</i> .....	42
<b>BAB V. PENUTUP .....</b>	<b>47</b>
5.1. Kesimpulan .....	47
5.2. Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1     Rolling	4
Gambar 2.2     Drawing	5
Gambar 2.3     Ekstrusi	5
Gambar 2.4     Forging	6
Gambar 2.5     Diagram fasa biner Cu-Zn dan daerah rentang suhu semi-solid	7
Gambar 2.6     Diagram Alir Proses dasar thixoforming & rheocasting	7
Gambar 2.7     Ilustrasi Hukum Pascal	8
Gambar 2.8     Hukum Bernouli	9
Gambar 2.9     Sistem Kerja Hidrolik	9
Gambar 2.10    Sistem Kerja servo hidrolik	10
Gambar 2.11    Sistem Kerja servo valve	10
Gambar 2.12    Sistem Torak	12
Gambar 2.13    Diagram Blok servo hidrolik	13
Gambar 2.14    Diagram Blok Umpan Balik A3200	14
Gambar 2.15    Diagram Blok posisi servo hidrolik	14
Gambar 2.16    Kurva Respon Tangga Satuan	16
Gambar 2.17    Diagram Bode	18
Gambar 3.1     Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2     Rangkaian Percobaan Sistem Hidrolik	20
Gambar 3.3     GUI NScope	21
Gambar 3.4     Diagram Alir Program Simulasi Numerik	22
Gambar 3.5     Diagram Alir Program Simulasi Numerik Alternatif	23
Gambar 3.5     Lanjutan Diagram Alir Program	24
Gambar 3.6     Tampilan Program Simulasi Numerik	24
Gambar 3.7     Hasil Eksperimen Proses Autotuning	25
Gambar 3.8     Hasil Simulasi Numerik Dengan Variabel Autotuning	26
Gambar 4.1     Hasil Eksperimen Penguatan Gain $K_{pos} = 28.5$	27
Gambar 4.2     Hasil Simulasi Numerik Penguatan Gain $K_{pos} = 28.5$	28
Gambar 4.3     Hasil Eksperimen Penguatan Gain $K_{pos} = 38.5$	29



Gambar 4.4	Hasil Simulasi Numerik Penguatan Gain $K_{pos} = 38.5$	30
Gambar 4.5	Hasil Eksperimen Penguatan Gain $K_{pos} = 48.5$	31
Gambar 4.6	Hasil Simulasi Numerik Penguatan Gain $K_{pos} = 48.5$	32
Gambar 4.7	Hasil Eksperimen Penguatan Gain $K_i = 750$	33
Gambar 4.8	Hasil Simulasi Numerik Penguatan Gain $K_i = 750$	34
Gambar 4.9	Hasil Eksperimen Penguatan Gain $K_i = 7455$	35
Gambar 4.10	Hasil Simulasi Numerik Penguatan Gain $K_i = 7455$	36
Gambar 4.11	Hasil Eksperimen Penguatan Gain $K_p = 200 \times 10^3$	37
Gambar 4.12	Hasil Simulasi Numerik Penguatan Gain $K_p = 200 \times 10^3$	38
Gambar 4.13	Hasil Eksperimen Penguatan Gain $K_p = 20 \times 10^6$	39
Gambar 4.14	Hasil Simulasi Numerik Penguatan Gain $K_p = 20 \times 10^6$	40
Gambar 4.15	Grafik Perubahan Sistem Akibat $K_p$	40
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Nilai PM dengan kesalahan Tunak dan Transisi Pada Perubahan Variabel $K_i$	41
Gambar 4.17	Hasil Simulasi Numerik Optimasi	44
Gambar 4.18	Hasil Eksperimen $K_p$ 2.000.000, $K_i$ 1470, $K_{pos}$ 28.5	44
Gambar 4.19	Hasil Simulasi Optimasi Perubahan $K_i$	45
Gambar 4.20	Hasil Eksperimen Perubahan Nilai $K_i$ 1970	46

## DAFTAR PERSAMAAN

	Hal
Persamaan 2.1	11
Persamaan 2.2	11
Persamaan 2.3	11
Persamaan 2.4	11
Persamaan 2.5	12
Persamaan 2.6	12
Persamaan 2.7	12
Persamaan 2.8	12
Persamaan 2.9	13
Persamaan 2.10	13
Persamaan 2.11	13
Persamaan 2.12	13
Persamaan 2.13	14
Persamaan 2.14	15
Persamaan 2.15	15
Persamaan 2.16	15
Persamaan 2.17	15
Persamaan 2.18	15
Persamaan 2.19	16
Persamaan 2.20	17
Persamaan 2.21	17

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	Lampiran A	
<b>A.1</b>	Diagram alir simulasi Numerik	A-1
<b>A.2</b>	Program Listing Program Simulasi Numerik	A-2

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
q	Laju Aliran Minyak Menuju Piston	(kg/s)
P	Beda Tekanan Pada Piston	(N/m <sup>2</sup> )
x	Perpindahan Katub Pandu	(m)
A	Luas Alas Torak	(m <sup>2</sup> )
	Kerapatan massa	(kg/m <sup>3</sup> )
f	Koefisien gesek torak	(kg/s)
m	Massa	(kg)
Ki	Konstanta Gain Kecepatan Integral Aerotech	Nu
Kp	Konstanta Gain Kecepatan Proposional Aerotech	Nu
Kpos	Konstanta Gain Posisi Aerotech	Nu
Th	Konstanta Waktu Sistem Hidrolik	Nu
PM	Phase Margin	Deg
Fc	Frekuensi crossover	Hertz

## ABSTRAK

Salah satu bagian yang penting dari mesin semi-solid metal forging adalah hidrolik, yang bertugas sebagai pembentuk (penekan/press) benda kerja. Hidrolik dituntut memiliki pergerakan pemosisian yang teliti, sehingga didapatkan geometri yang sesuai dengan gambar rancangan kerja. Untuk mendapatkan ketelitian pergerakan tersebut sistem hidrolik ditambahkan servo valve dan kontrol digital (aerotech A3200) yang kemudian disebut sistem kontrol servo hidrolik. Dimana parameter kontrol digital ( $k_{pos}, k_p, k_i$ ) digunakan untuk memperbaiki pergerakan hidrolik.

Untuk mendapatkan pengaruh parameter kontrol terhadap plant (servo hidrolik), digunakan pendekatan matematik pada wawasan-S (laplace) untuk mendapatkan hasil simulasi. Dimana pengujian simulasi ini menggunakan masukan satuan (step), waktu (ramp) dan frekuensi (bode) untuk meramal keadaan yang terjadi terhadap plan yang kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen.

Dari hasil simulasi dan eksperimen didapatkan kesimpulan bahwa Nilai  $K_{Pos}$  berpengaruh pada nilai Kesalahan tunak, waktu penetapan dan  $F_c$ . Nilai  $K_i$  berpengaruh terhadap kesalahan tunak tanpa merubah nilai  $F_c$  dan  $PM$  dan kesalahan transisinya, dimana perubahan nilai kesalahan tunaknya akan berbanding terbalik dengan kesalahan transisinya. Nilai  $K_P$  menghilangkan kesalahan tunak. Dari Optimasi sistem Plant hidrolik dengan pendekatan simulasi terlebih dahulu. Didapatkan nilai parameter  $K_{pos} = 28.5$ ,  $K_p = 2000000$ , dan  $K_i = 1970$  dengan kesalahan keadaan transisi  $66 \mu m$  dan tunak  $3 \mu m$ . Pada  $PM = 89 \text{ deg}$  dengan  $F_c = 177 \text{ hertz}$ .

**Kata Kunci:** Servo hidrolik, Aerotech A3200, Step, Ramp, Bode.

## ABSTRACT

The important parts of the semi-solid metal forgings machine are hydraulic, it's going to forming (press) the workpiece. Hydraulic positioning movements are required to have a high accuracy, so that the geometry of workpiece obtained in accordance with the working drawings. To get the high accuracy of the movement system added servo hydraulic control valve and digital (Aerotech A3200) which was then called the hydraulic servo control system. Where digital control parameters ( $k_{pos}, k_p, k_i$ ) is used to fix the hydraulic movement.

To get the effect of the control parameters of the plant (hydraulic servo), used a mathematical approach to S-concept (laplace) for simulated testing results. Where the simulated testing is using the input unit (step), time (ramp) and frequency (bode) to predict the circumstances that occurred to the plan which is then compared with experimental results.

From the simulation and experimental results it was concluded that the value  $K_{Pos}$  effect on steady-state error value, time-setting and  $F_c$ .  $K_i$  values effect the steady-state error without changing the value of  $F_c$  and  $PM$  and errors transition, where the change in the value of the steady state error be inversely proportional to the error transition. The value of  $K_P$  is eliminate the Steady-state errors. Optimization of Plant hydraulic use system simulation approach. Parameter values obtained  $K_{pos} = 28.5$ ,  $K_p = 2000000$ , and  $K_i = 1970$  with error transition state  $66 \mu m$  and  $3 \mu m$  steady. In  $PM = 89 \text{ deg}$  with  $F_c = 177 \text{ hertz}$ .

**Key word:** Servo hidrolik, Aerotech A3200, Step, Ramp, Bode.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang.**

Hidrolik merupakan suatu alat atau komponen mesin yang digunakan untuk menggerakkan komponen mesin lain yang memerlukan daya besar. Seperti pada mesin perkakas (mesin press, mesin pembentukan logam), alat-alat berat (eksavator), aerospace (actuator pesawat terbang), otomotif (pintu otomatis bus) dan lain-lainnya.

Prinsip kerja hidrolik adalah menggunakan input daya yang kecil untuk menggerakkan komponen dengan daya yang besar. salah satu mesin mekanik yang dibutuhkan sebagai penggerak mesin yang memerlukan daya tinggi melalui pemanfaatan fluida statis. Hidrolik dirancang dan dibuat sesuai dengan fungsi dan kegunaannya. Untuk mesin yang memerlukan ketelitian tinggi diperlukan pengaturan atau kontrol gerak hidrolik yang baik dan konsisten karena gerakan ini akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Misalnya pada mesin pembentukan logam, dimana mesin ini dituntut harus menghasilkan produk dengan kualitas geometri yang tinggi (toleransi yang diberikan sangat ketat). Hal ini dapat dicapai dengan kondisi kerja pengaturan atau kontrol hidrolik yang baik. Permasalahan yang sering muncul pada hidrolik mesin pembentukan logam adalah konsistensi pengaturan atau pengontrolan gerak hidrolik (pengontrolan fluida). Gerak fluida sangat besar pengaruhnya pada proses kerja hidrolik dimana aliran fluida itu harus dipastikan atau diatur sedemikian rupa agar dapat membuat hidrolik dapat bekerja dengan baik. Selain pengaturan fluida, gerakan hidrolik yang tidak linier juga dapat mempengaruhi kerja dan fungsinya.

Untuk mengatasi permasalahan yang muncul pada mesin pembentukan logam ini, maka dirancang mesin dengan pengembangan metode atau teknologi melalui pemanfaatan berbagai macam material dan bentuk dan dimensi struktur atau rancang bangun mesin ataupun dengan pemodelan menggunakan metode lain. Salah satu metode yang telah dikembangkan oleh Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi Balai Besar Mesin Perkakas, Teknik Produksi dan Otomasi

---

(BPPT-MEPPPO) adalah perancangan dan pembuatan mesin pembentukan logam semisolid. Pada mesin ini dikembangkan sistem hidrolik dengan sistem pengaturan posisi dan tekanan yang dihubungkan dengan kecepatan. Pengaturan hidrolik menggunakan teknologi *servo valve* yang berfungsi untuk mengatur jumlah debit yang masuk pada torak. Dari jumlah debit ini nantinya digunakan untuk menggerakkan torak.

Dalam penelitian ini difokuskan pada analisis karakteristik sistem servo hidrolik dimana hasil yang diperoleh dimodelkan secara matematis dalam domain-S untuk melihat respon sistem terhadap kontrol masukan. Sehingga diperoleh mesin pembentukan logam dengan gerak sistem hidrolik ketelitian tinggi.

### 1.2 Rumusan Masalah.

Dari latarbelakang yang telah dipaparkan maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

- 📌 Apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi nilai ketelitian pengaturan servo hidrolik dengan permodelan matematik system?

### 1.3 Tujuan dan Manfaat.

Penelitian ini bertujuan untuk

- 📌 Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi nilai ketelitian pengaturan *servo* hidrolik dengan permodelan matematik sistem.

Sedangkan manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah

- 📌 Menambah pustaka tentang sistem kontrol *servo* hidrolik.

### 1.4 Batasan Masalah.

Agar penelitian ini tidak terlalu melebar maka diberikan batasan masalah dan asumsi yaitu:

- 📌 Penelitian hanya membahas pengaruh parameter terhadap respon sistem.
  - 📌 Aliran yang dipasok oleh pompa daya hidrolik diasumsikan konstan dan sistem pompa daya di asumsikan dalam keadaan ideal.
-

- 📌 Sistem yang dimodelkan adalah sistem servo hidrolik dengan asumsi tanpa gangguan.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Laporan ini disusun bab demi bab, dan terdiri dari lima bab yaitu :

- 📌 Bab I Pendahuluan, pada bab ini menjelaskan tentang studi kasus yang berisi latar belakang permasalahan, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.
  - 📌 Bab II Tinjauan Pustaka, pada bab ini berisi tentang tinjauan pustaka mengenai dasar teori dari system kontrol pada hidrolik.
  - 📌 Bab III Metodologi, pada bab ini berisi tentang proses dan sistem pengumpulan data.
  - 📌 Bab IV Analisa Dan Pembahasan, pada bab ini berisi tentang hasil dari Pengujian simulasi dan percobaan yang telah dilakukan serta pembahasan dari data yang telah didapat.
  - 📌 Bab V Penutup, terdiri dari kesimpulan dan saran. Kemudian Daftar Pustaka, dan Lampiran.
-



## BAB II

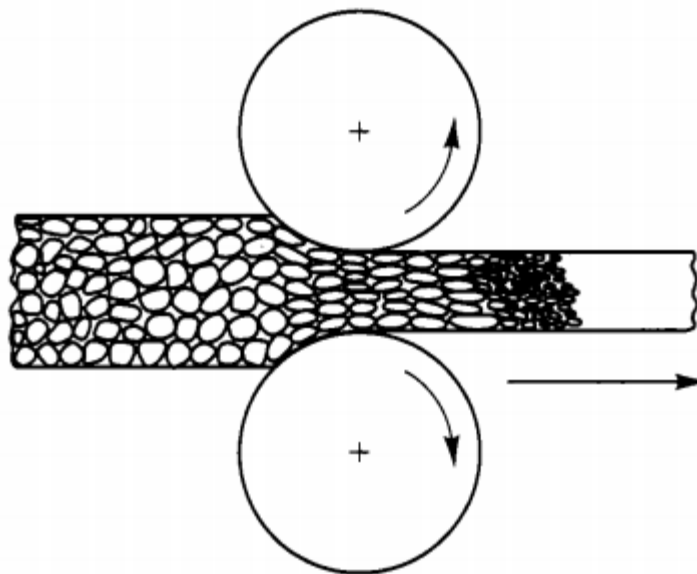
### DASAR TEORI

#### 2.1 Proses Pembentukan Logam

Proses pembentukan logam merupakan cara untuk memotong atau membentuk suatu benda dari material logam. membuat suatu logam menjadi sama dengan geometri yang diinginkan tanpa mengalami pembentukan gram. Pada proses pengerjaannya Terdapat dua jenis pengerjaan pembentukan logam yaitu pembentukan pada suhu dingin (*cold forming*) dan pembentukan pada suhu leburnya (*hot forming*). Proses pembentukan tergantung pada sifat plastisitas (*plasticity*), yakni kemampuan mengalir sebagai padatan tanpa merusak sifat-sifatnya. Jenis-jenis proses pembentukan adalah sebagai berikut (James Bralla, 2006) .

##### 2.1.1. *Rolling*

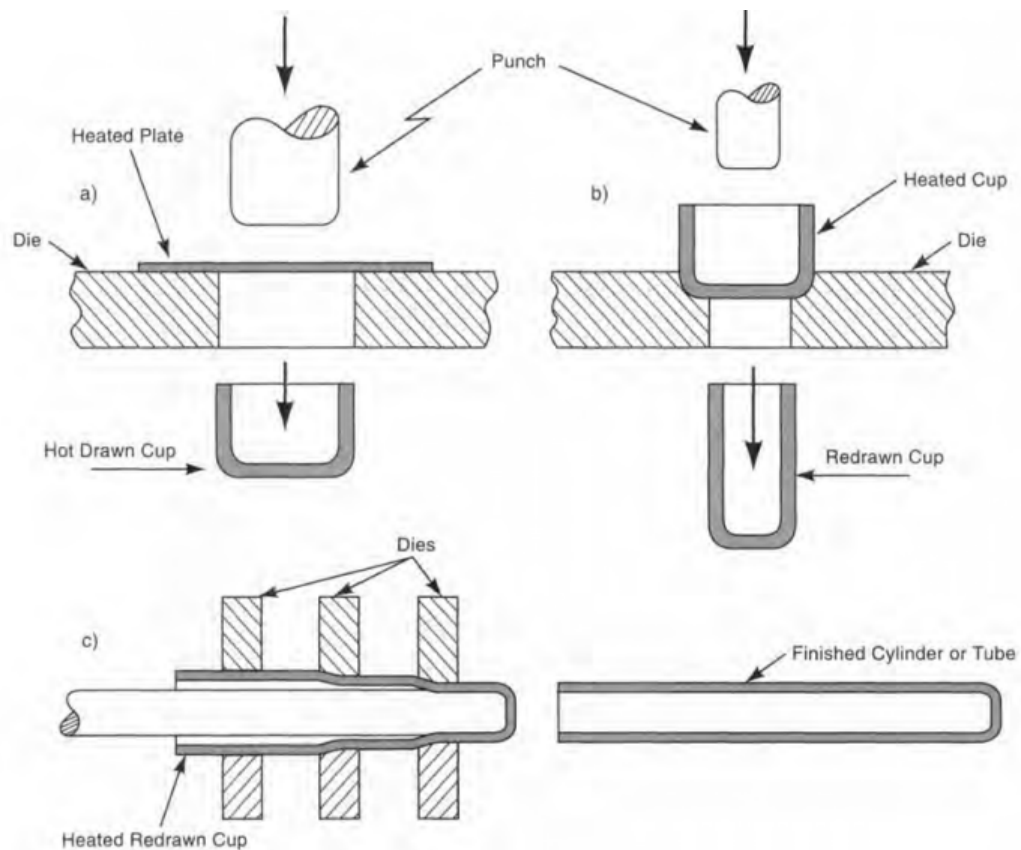
*Rolling* merupakan proses pembentukan logam yang menggunakan dua atau lebih rol untuk mendapatkan bentuk dan permukaan logam sesuai geometri yang diinginkan. Gambar 2.1 merupakan proses *rolling* yang menggunakan dua rol.



Gambar 2.1: *Rolling* (James Bralla, 2006)

### 2.1.2. Drawing .

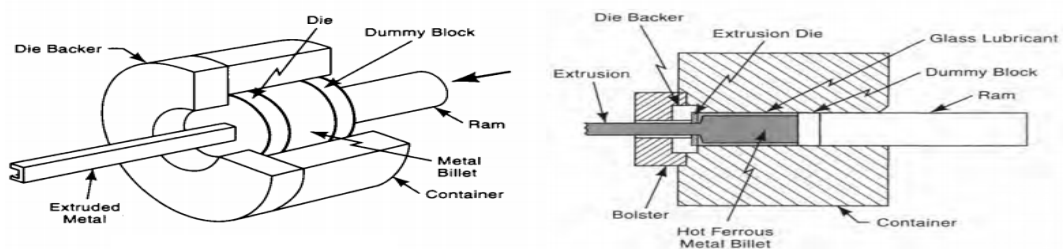
*Drawing* merupakan proses pembentukan untuk lembaran logam dengan menggunakan tekanan dimana bentuk yang diinginkan sesuai dengan cetakan logam (*die*) yang disediakan. Gambar 2.2 memperlihatkan proses drawing.



Gambar 2.2: *Drawing* (James Bralla, 2006)

### 2.1.3. Ekstrusi.

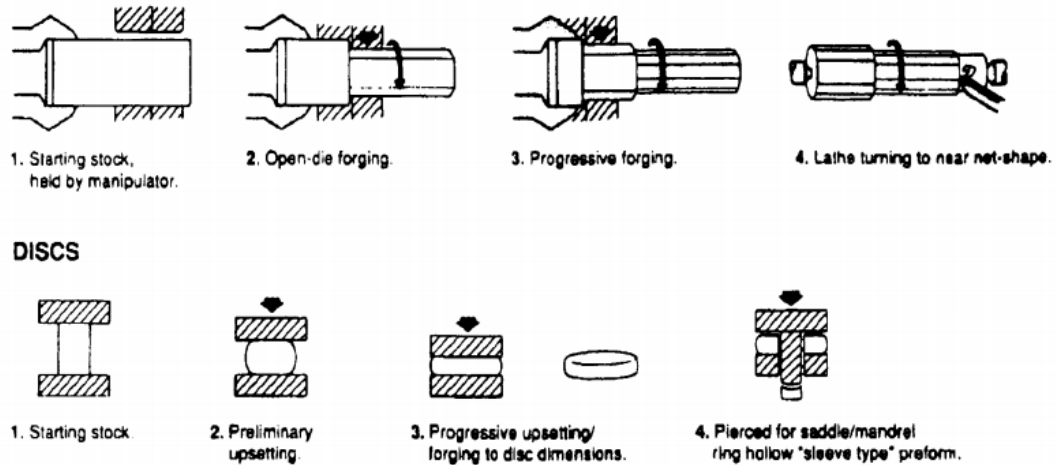
Pada proses ekstrusi logam didorong sehingga melewati cetakan (*die*). Dimana hasil yang diinginkan sesuai bentuk dari cetakannya (*die*). Gambar 2.3 menunjukkan proses ekstrusi.



Gambar 2.3: Ekstrusi (James Bralla, 2006)

#### 2.1.4. *Forging*.

Proses ini memanfaatkan sifat plastis dari logam untuk menempati seluruh ruangan cetakan (*die chamber*). Gambar 2.4 menggambarkan proses forging.

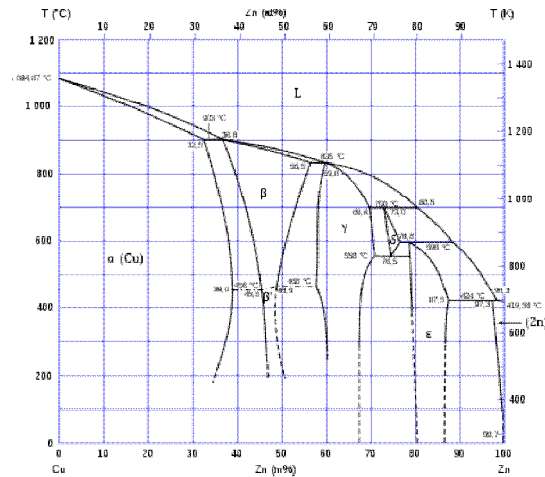


Gambar 2.4: *Forging* (James Bralla, 2006)

Bila ditinjau dari suhu prosesnya *forging* terdiri dari dua jenis yaitu *Hot forging* dan *cold forging*. *Semi-solid forging* merupakan bagian dari proses *cold forging*

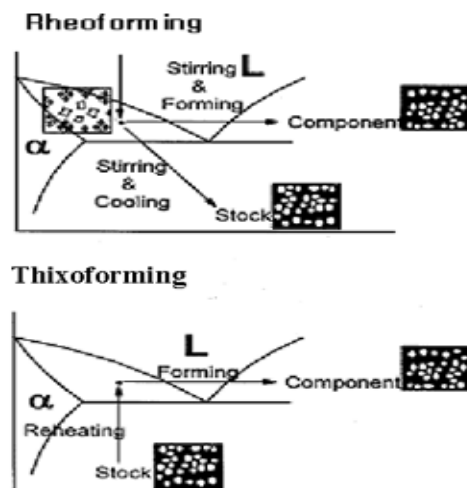
### 2.2 *Semi Solid Metal Forging*

Perancangan peralatan *semi solid forging* perlu diperhatikan karakteristik material yang akan di proses terutama dari segi komposisi kimia, kemudian rentang temperatur daerah *semi solid* atau campuran antara padatan dengan cairan logam yaitu kuningan 70/30 yang sesuai dengan standar ASTM B36-C26000 seperti yang terlihat di gambar 2.5.



Gambar 2.5: Diagram Fasa biner Cu-Zn dan daerah rentang suhu *semi-solid*.

Teknologi pembentukan (penekanan/press) yang digunakan adalah *Thixocasting* yaitu proses pembuatan bahan baku dalam bentuk batangan, billet, balok dengan status struktur mikro dalam keadaan *semi solid* (struktur mikro *globular*/membulat), sebelum dilakukan pembentukkan bahan baku dipanaskan terlebih dahulu sampai dengan temperatur *semi solid* yang sesuai dengan jenis materialnya, baru dilakukan pembentukkan.



Gambar 2.6: Diagram alir proses dasar *thixoforming* & *rheocasting*.

Persyaratan rancangan (*design*) dari mesin *semi solid forming* sebagai berikut :

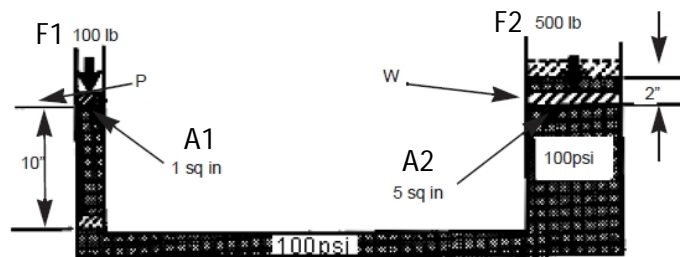
- a. Standar produk yaitu mengacu pada *standard Japan Forming Machinery Association* yang diantaranya berisi *Basic Structure of Hydraulic Servo Press*.
- b. *Design constrain* yaitu :
  - Dibutuhkan 2 piston untuk *pressing* dan *ejector* material/objek.
  - Proses *pressing/casting* : 4 detik.
  - Stroke length : 500 mm.
  - Kapasitas tekanan mesin : 40 ~ 200 ton.

Untuk Mendapatkan karakteristik sistem kontrol hidrolik yang baik, maka langkah yang pertama adalah dengan mengetahui permodelan matematika dari sistem kerja *plan* servo hidrolik tersebut.

### 2.3 Sistem Kerja Hidrolik

Pada pertengahan abad 17 Blaise Pascal menemukan hukum dasar dari hidrolik. Dia menyatakan bahwa tekanan yang di berikan pada fluida akan menyebar dan sama besar pada tiap sisinya.

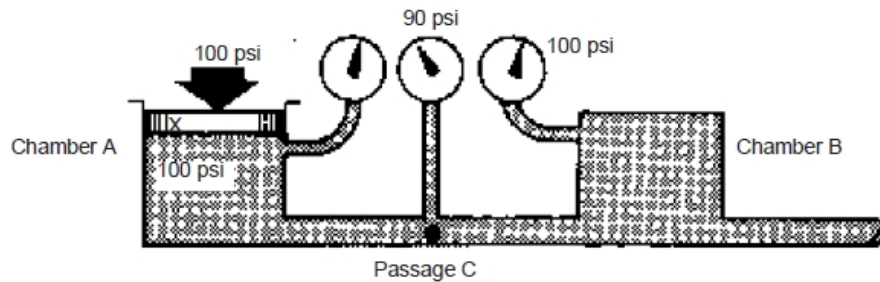
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$



Gambar 2.7: Ilustrasi Hukum Pascal

Dari hukum inilah teknologi hidrolik mulanya berkembang. Pada abad yang sama pada tahun 1738 muncul pula hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa bila tekanan pada suatu fluida yang memiliki masa jenis dan bentuk partikel fluidanya sama meningkat maka *velocity* fluida itu akan menurun dan sebaliknya pula

apabila *velocity* meningkat maka tekanan akan menurun. Kedua rumus ini akan berkaitan erat pada sistem hidrolik.

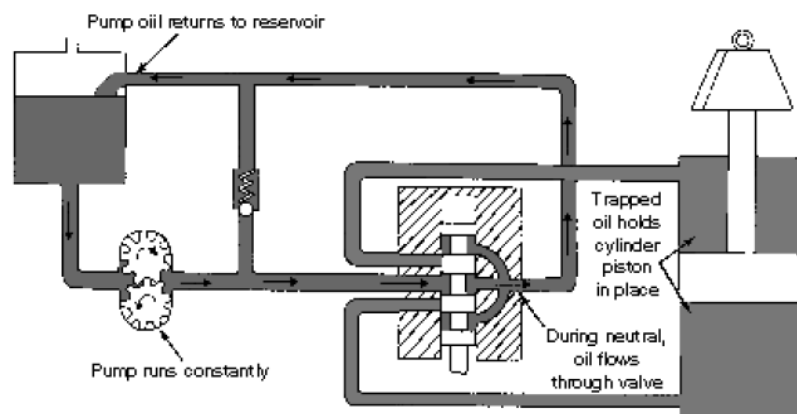


Gambar 2.8: Hukum bernoulli

Sistem Hidrolik terdiri dari tiga komponen penting yaitu:

1. Pompa daya hidrolik
2. Pengontrol flow rate fluida
3. Aktuator (bisa berupa piston atau motor)

ada pun sistem kerja hidrolik terlihat dari gambar 2.9. Pompa daya mengalirkan fluida secara konstan, kemudian aliran fluida nantinya akan di atur oleh pengontrol laju aliran (*flow rate*) yang kemudian di dimanfaatkan untuk menggerakkan torak (*actuator*) sistem hidrolik.

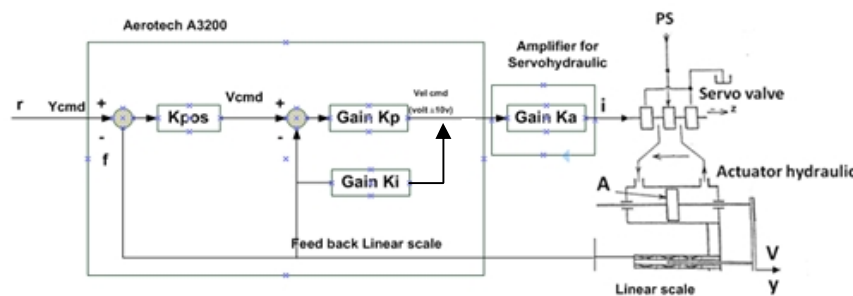


Gambar 2.9: sistem kerja hidrolik

Dari sistem kerja ini maka akan ditentukan model matematikanya. Model matematika yang akan dicari harus sesuai dengan langkah kerja dari hidrolik. Dari

model matematika dalam domain-S akan digunakan untuk menganalisa karakteristik kontrolnya.

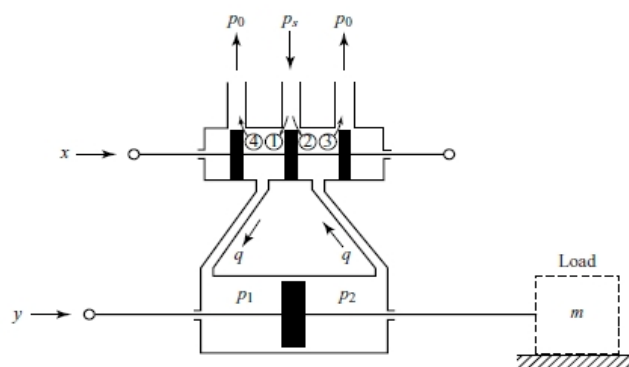
## 2.4 Model matematika sistem fisik *Servo Hidrolik*



Gambar 2.10: Sistem Kerja *Servo*valve, (BPPT-MEPPPO, 2012)

Pada Gambar 2.10 terlihat bahwa terdapat tiga bagian dalam system pengontrolan yaitu *Plant* (sistem fisik *servo hydraulic*) *driver power* ( amplifier) dan *controller* (Aerotech A3200). Dari ketiga bagian ini perlu dicari model matematika system fisik dalam domain-S yang nantinya akan digunakan sebagai bahan analisa sistem kontrolnya.

Debit masukan dari pompa hidrolik besarnya akan di pengaruhi oleh pergeseran katub (x).



Gambar 2.11: Sistem Kerja *Servo*valve, (Ogata,1997)

Nilai  $q$  yang masuk kedalam piston merupakan fungsi dari katub  $x$  dan  $\Delta P$ , dimana nilai  $q$  dengan parameter  $x$  dan  $\Delta P$  ini merupakan persamaan nonlinear

sehingga perlu dilinerisasi didekat titik kerja normal (Ogata, 1997). Persamaan linearnya menjadi

$$q = K_1 \cdot X - K_2 \Delta P \quad (2.1)$$

dimana :

$q$  = Laju aliran minyak menuju piston, kg/det.

$\Delta P = P_2 - P_1$  = beda tekanan pada piston, N/m<sup>2</sup>

$x$  = perpindahan katup pandu, m

jika dilihat dari gambar 2.11 hukum kontinuitas berlaku pada selang masukan dari servo valve menuju ruang torak, dimana nilai  $q$  dikali  $dt$  sebanding dengan perpindahan torak ( $dy$ ) dikali luas torak ( $A$ ) dikali rapat massa minyak ( $\rho$ ) (Ogata,1997). Sehingga, diperoleh

$$q \, dt = A \, \rho \, dy \quad (2.2)$$

dimana,

$A$  = Luas alas Torak, m<sup>2</sup>.

$\rho$  = Kerapatan massa , kg/m<sup>3</sup>

Substitusikan persamaan ( 2.2 ) ke persamaan ( 2.1 ) Sehingga persamaan ( 2.1 ) menjadi:

$$\Delta P = \frac{1}{K_2} (K_1 x - A \rho \frac{dy}{dt}) \quad (2.3)$$

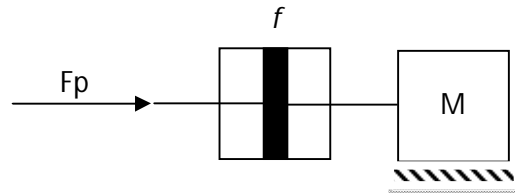
Adapun diagram system dari torak pada sistem servo hidrolik pada Gambar 2.10 terlihat pada Gambar 2.12 dimana  $F_p$  Merupakan gaya torak yang dibangkitkan oleh tekanan ( $\Delta P$ ) dikali dengan luas torak ( $A$ ) yang di berikan pada ruang torak.

$$F_p = A \, \Delta P \quad (2.4)$$



Substitusikan persamaan ( 2.3 ) ke persamaan ( 2.4 ), sehingga menjadi

$$F_p = \frac{A}{K_2} (K_1 x - A \rho \frac{dy}{dt}) \quad (2.5)$$



Gambar 2.12: Sistem torak

Untuk melawan gaya luar dan beban torak itu sendiri nilai  $F_p$  harus sebanding dengan gaya luar yang melawan agar tercipta kesetimbangan system.

$$F_p = m\dot{v} + f v \quad (2.6)$$

Jika persamaan ( 2.5 ) disubstitusikan ke persamaan ( 2.6 ) maka

$$\frac{AK_1}{K_2} x = m\dot{v} + (f + \frac{A^2 \rho}{K_2}) v \quad (2.7)$$

dimana

$f$  = koefisien gesek dari torak (Kg/det)

$m$  = Massa beban (Kg)

Kemudian Persamaan (2.7) dapat ditulis ulang menjadi,

$$T_H \dot{v} + v = K_H x \quad (2.8)$$

dimana

$$T_H = \frac{mK_2}{f K_2 + A^2 \rho}$$

$$K_H = \frac{1}{\frac{fK_2 + A\rho}{AK_1} + \frac{1}{K_1}}$$

Besarnya perubahan Katub x dikendalikan oleh motor torsi yang di beri arus oleh ampliflier, dimana perubahan katub x sebanding dengan arus yang diberikan.

$$X = I \quad (2.9)$$

Besarnya arus yang dihasilkan didapat dari masukan tegangan yang di inputkan pada servo dimana persamaan antara arus (I) dengan Tegangan (E) adalah

$$I = K_a \cdot E \quad (2.10)$$

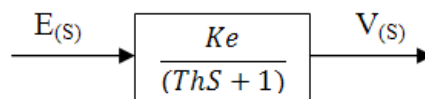
Sehingga persamaan (2.8) dapat di tulis kembali menjadi

$$T_H \dot{V} + V = K_E e \quad (2.11)$$

Dari persamaan ( 2.11 ) didapatkan persamaan *laplace*-nya

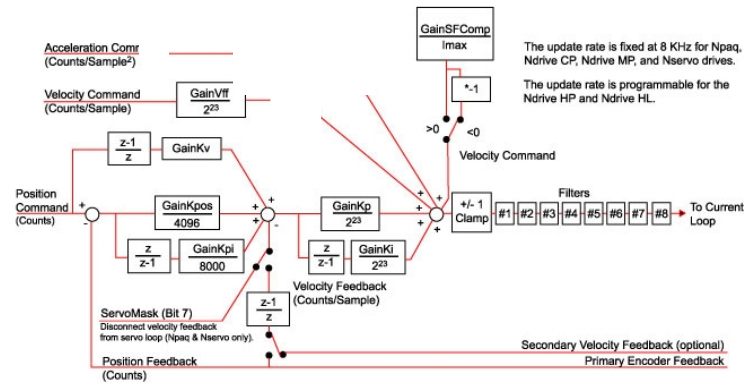
$$(T_H S + 1)V_{(s)} = K_E E_{(s)} \quad (2.12)$$

Dari persamaan laplace (2.12) dapat digambarkan diagram blok antara masukan tegangan dengan kecepatan dari servo hidrolik yang terlihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13: Diagram blok *Servo* Hidrolik

Sistem hidrolik ini akan diumpun balik dan kemudian akan dikontrol langsung oleh A3200<sup>TM</sup> dimana diagram blok umpan baliknya dapat dilihat pada gambar 2.14 berikut



Gambar 2.14: Diagram blok umpan balik A3200<sup>TM</sup>

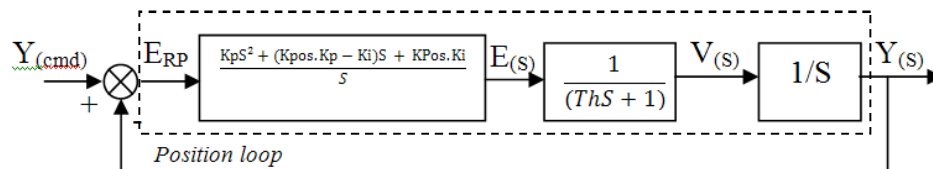
(Sumber : A3200 NView Help, Aerotech, Inc)

Dari diagram blok umpan balik A3200<sup>TM</sup> terlihat terdapat dua jenis loop kontrol, yaitu kontrol kecepatan dan posisi, dimana loop kecepatan dapat diturunkan menjadi

$$E(s) = (K_{pos} - s) \times \left( \frac{K_p s + K_i}{s} \right)$$

$$E(s) = \frac{K_p s^2 + (K_{pos} K_p - K_i) s + K_{pos} K_i}{s} \quad (2.13)$$

Dari persamaan 2.13 dapat disubstitusikan kedalam diagram blok posisi pada gambar 2.14. Sehingga diagram posisi dapat ditulis ulang menjadi gambar 2.15.



Gambar 2.15: Diagram blok posisi servo hidrolik

$E_{RP}$  merupakan kesalahan posisi yang terjadi didapat dari nilai umpan balik yang dihasilkan plant (Nasril,2003). Dimana besarnya  $E_{RP}$  adalah

$$E_{RP} = (Y_{act} - Y_{cmd}) \quad (2.14)$$

Dari diagram blok rangkaian pengatur posisi terlihat fungsi transfer dalam bentuk domain-S laplace. Gain rangkaian pengaturan posisi terbuka  $G_p^0(S)$  adalah :

$$G_p^0(S) = \frac{KpS^2 + (KposKp - Ki)S + KposKi}{S^2(ThS + 1)} \quad (2.15)$$

Dan  $E_{RP} G_p^0(S) = Y_{act}$  (Nasril, 2003)

Maka,

$$\begin{aligned} (Y_{cmd} - Y_{act}) \cdot G &= Y_{act} \\ G \cdot Y_{cmd} - G \cdot Y_{act} &= Y_{act} \\ G \cdot Y_{cmd} &= Y_{act} \cdot (1 + G) \\ \frac{Y_{act}}{Y_{cmd}} &= \frac{G}{(1 + G)} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Subtitusikan persamaan (2.15) ke persamaan (2.16) sehingga didapat

$$\frac{Y_{act}(s)}{Y_{cmd}(s)} = \frac{KpS^2 + (KposKp - Ki)S + KposKi}{ThS^3 + (1 + Kp)S^2 + (KposKp - Ki)S + KposKi} \quad (2.17)$$

Persamaan Ini merupakan fungsi transfer dari *plan* ditambah sistem kontrol yang digunakan. Persamaan ini merupakan fungsi *gain* proposional ditambah integral sehingga persamaan (2.17) dapat ditulis ulang menjadi

$$\frac{Y_{act}(s)}{Y_{cmd}(s)} = \frac{(KDtS^2 + KPtS + KIt)}{ThS^3 + (KDt + 1)S^2 + KPtS + KIt} \quad (2.18)$$

dimana

$$KPt = KposKp - Ki$$

$$KIt = Kpos KI$$

$$KDt = Kp$$


---

Persamaan 2.18 merupakan persamaan sistem kontrol proposional, integral dan derivatif untuk sistem kontrol hidrolik.

### 2.3. Respon Waktu Sistem Kontrol

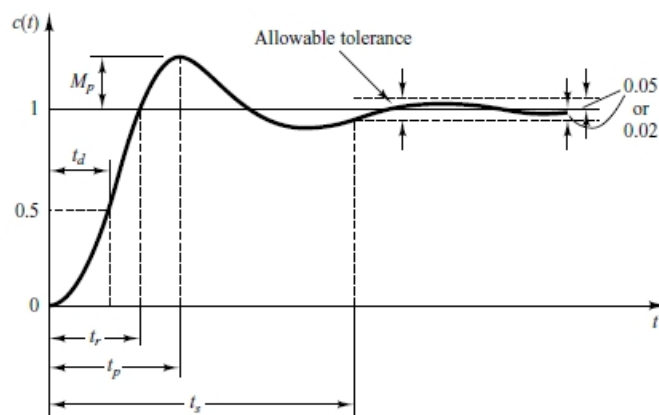
Setelah didapatkan permodelan matematik system kontrol dari plan maka perlu dilihat respon waktunya. Dimana terdapat dua jenis respon waktu, yaitu respon waktu transien dan tunaknya. Untuk mengetahui kedua kondisi dari respon tersebut. Plan Perlu diberikan sinyal uji khusus. Sinyal uji khusus adalah step, ramp dan frekuensi (Ogata,1997). Ketiganya menunjukkan sifat dari plan itu sendiri.

#### 2.3.1 Masukan Step

Masukkan step adalah salah satu sinyal uji yang diberikan pada plan pada rentan posisi tertentu (satuan) dimana transformasi laplace dari satuan adalah  $(1/s)$ , dengan mensubtitusikan  $Y_{cmd}(s) = 1/s$  kedalam fungsi transfer (Ogata,1997) maka diperoleh

$$Y_{act} = \frac{(KDtS^2 + KPtS + KIt)}{T_H S^3 + (KDt + 1)S^2 + KPtS + KIt} \frac{1}{s} \quad (2.19)$$

Dari persamaan diatas akan didapatkan grafik yang dapat digunakan untuk menentukan waktu yang digunakan untuk mencapai posisi yang diinginkan.



Gambar 2.16: kurva respon tangga satuan (Ogata.1997)

1. Waktu tunda (*delay time*)  $t_d$  .
2. Waktu naik (*rise time*)  $t_r$
3. Waktu puncak (*peak time*)  $t_p$
4. *Overshoot*  $M_p$
5. Waktu Tetapan (*set time*)  $t_s$

### 2.3.2 Masukan Ramp

Masukkan Ramp adalah salah satu sinyal uji yang diberikan pada plan dimana dengan sinyal uji ramp dapat dilihat kesalahan transiennya. transformasi laplace dari ramp adalah  $(1/s)$ , dengan mensubtitusikan  $X_{cmd}(s) = 1/s^2$  kedalam fungsi transfer (Ogata,1997) maka diperoleh

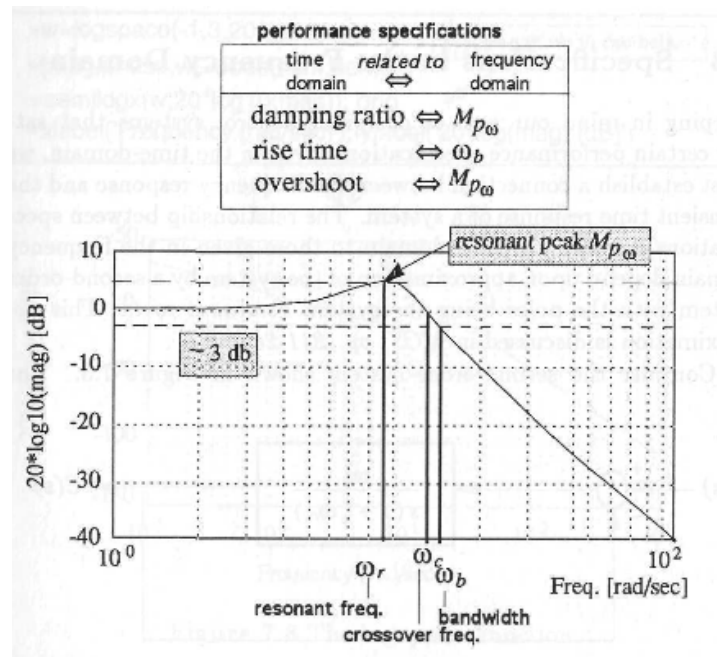
$$X_{act} = \frac{(KDtS^2 + KPtS + KIt)}{T_H S^3 + (KDt + 1)S^2 + KPtS + KIt} \frac{1}{S^2} \quad (2.20)$$

### 2.4. Metoda Respon Frekuensi

Sinyal masukan sistem kontrol selain ramp dan step terdapat masukan sinusoidal yang dapat melihat karakteristik sistem baik itu karakteristik transien maupun keadaan tunaknya. Dimana domain-S =  $j\omega$  sehingga persamaan fungsi transfer 2.20 dapat ditulis menjadi

$$\frac{X_{act}(j\omega)}{X_{cmd}(j\omega)} = \frac{(KDt(j\omega)^2 + KPt(j\omega) + KIt)}{T_H(j\omega)^3 + (KDt + 1)(j\omega)^2 + KPt(j\omega) + KIt} \quad (2.21)$$

Dari persamaan di atas maka dapat di gambarkan grafik bodenya. Dimana grafik bode gambar 2.17 merupakan grafik yang menggambarkan dua kurva yaitu kurva frekuensi sistem terhadap amplitudonya dalam satuan decibel (dB) dan frekuensi sistem terhadap fasanya (Robert Bishop, 1993).



Gambar 2.17: Diagram *Bode* (Robert Bishop, 1993)

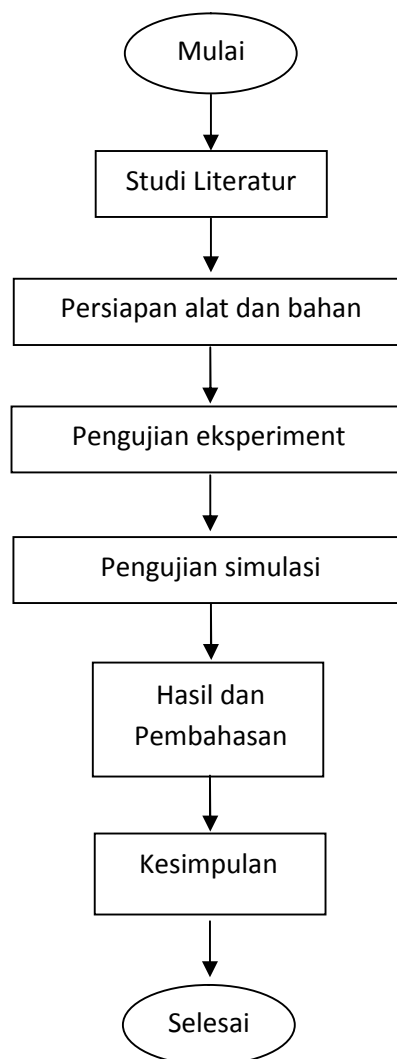
Dari kurva bode dapat diketahui nilai frekuensi resonansi ( $\omega_r$ ) dan frekuensi bandwidth ( $\omega_b$ ) sehingga dari nilai kedua tersebut dapat pula diketahui karakteristik dari daerah transienya. Jika nilai  $\omega_b$  meningkat maka rise time akan menurun dan jika  $\omega_r$  meningkat maka *overshoot* akan meningkat pula (Robert Bishop, 1993). Untuk tingkat kesetabilan yang optimal *Phase margin* (PM) harus bernilai diantara  $30^\circ$ - $60^\circ$ , dan *Gain Margin* (GM) nilainya lebih besar dari 6 db (ogata, 1997).

### **BAB III**

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada tulisan ini terdapat dua percobaan yaitu percobaan dengan simulasi dan eksperiment. Adapun diagram alir dari percobaan adalah

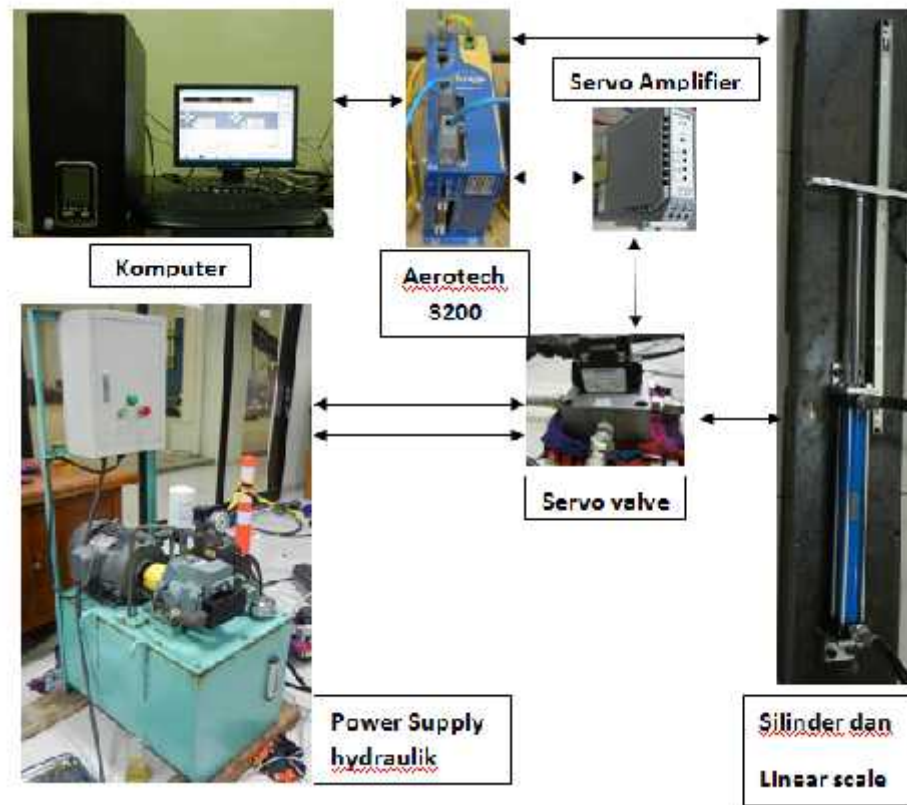


Gambar 3.1, Diagram Alir Percobaan



### 3.2 Alat dan Bahan Percobaan

Untuk mendukung pengujian eksperimen, diperlukan alat percobaan . dimana skema alat percobaan kali ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.2 , Rangkaian percobaan sistem hidrolik

Adapun spesifikasi yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

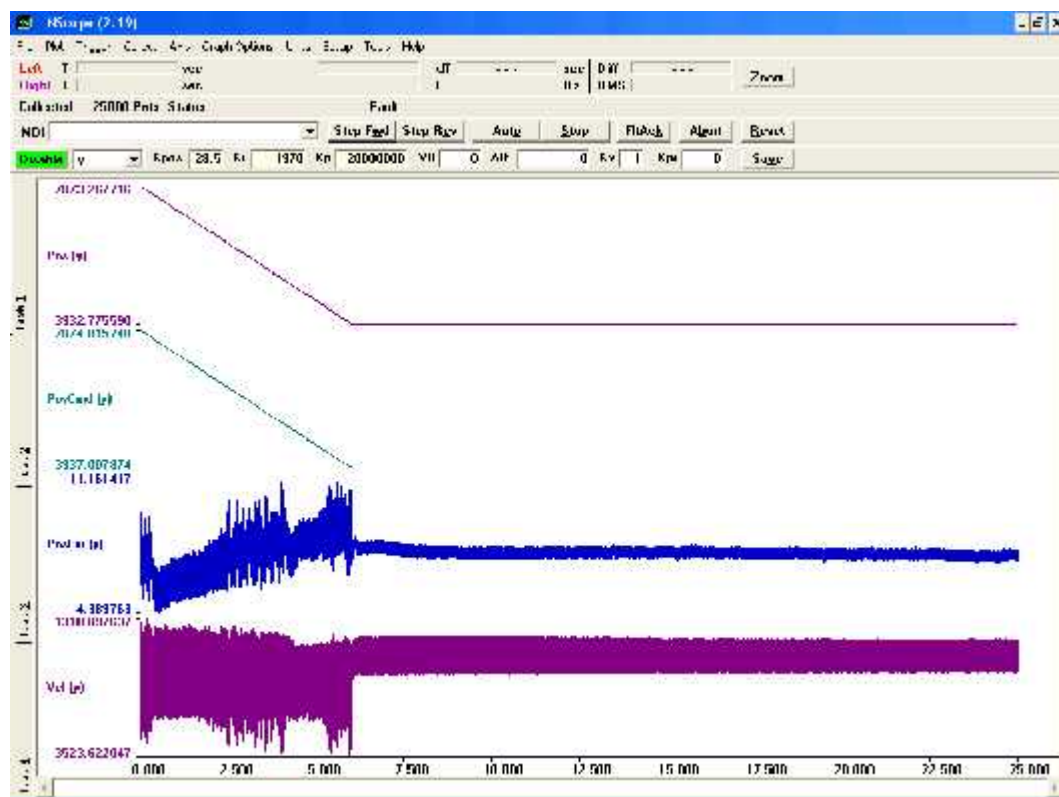
- Power suplai : Tekanan kerja dijaga konstan pada 70 bar.
- Servo valve : Merek vickers tipe SM4-15(15)57-20/200-10 tekanan maksimum 210 bar dan kapasitas 57 L/min.
- Piston : diameter 35 mm<sup>2</sup> dengan panjang 30 cm.
- LinearScale : Merek *Magnescape* type GB-060ER 600 mm, *resolusi* 0.5μm dan sistem *accuracy*  $\pm(0.0025+0.0025.L/1000)$  mm.
- Amplifer servovalve hidrolik : *Vickers Power Amplifier for Servo Valve* EHA-PAM-291-A-20, arus  $\pm 200$  mA.
- Sistem kontrol : Aerotech A3200 Ndrive
- Jenis Fluida yang digunakan adalah minyak hidrolik DOT-4

### 3.3 Metode Pengambilan data.

Terdapat dua metode pengambilan data yaitu pengambilan data eksperimen dan pengambilan data simulasi. Yang nantinya hasil keduanya akan dibandingkan.

#### 3.3.1. Pengambilan Data Eksperimen

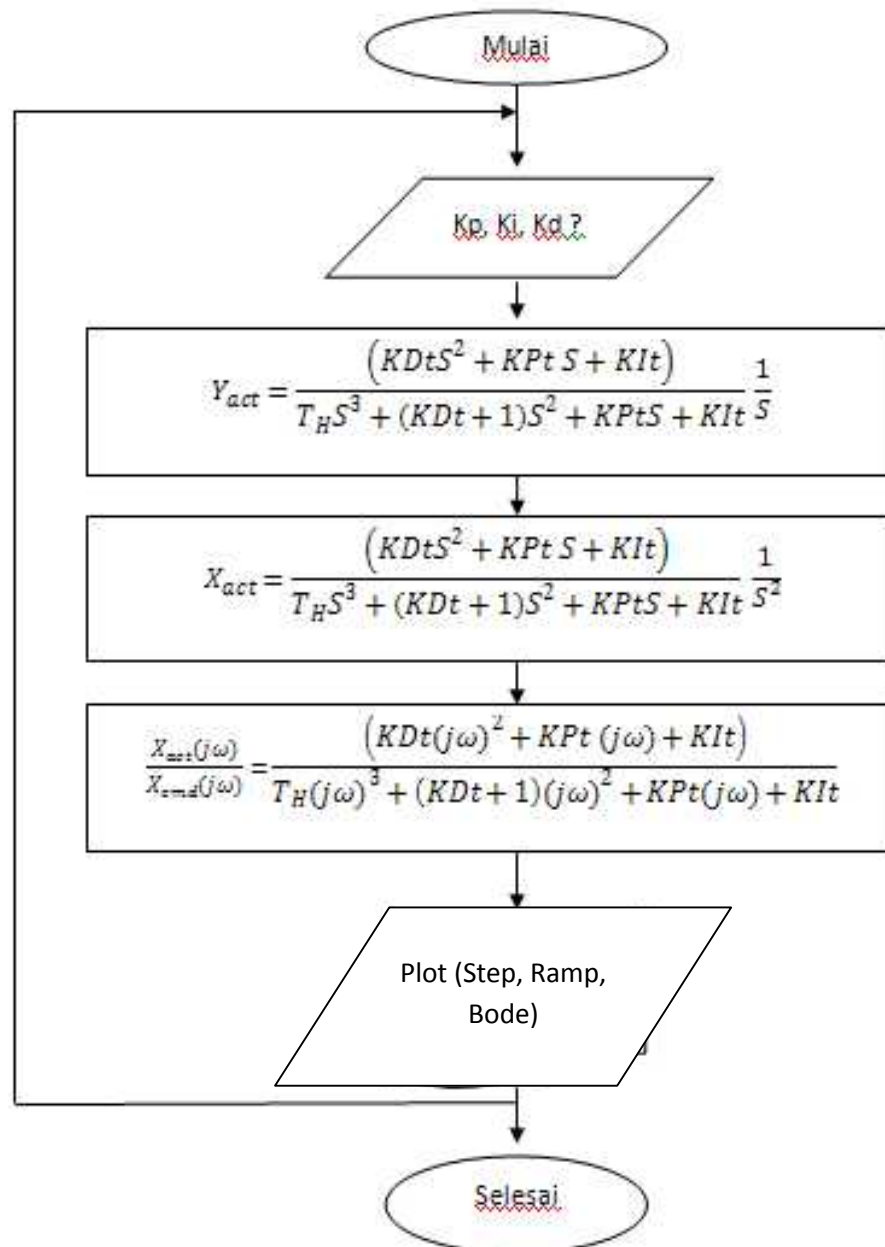
Pengambilan data eksperimen dan simulasi numerik dilakukan dengan mengganti parameter Kpos, Kp dan Ki pada kontroler Aerotech A3200. Dimana variasi nilai parameter Kpos sebesar (28,5), (38,5) dan 48,5, Ki sebesar 52, 750 dan 7455, Kpos sebesar  $200 \times 10^3$  dan  $20 \times 10^6$  dengan kecepatan 1000 mm/min dan jarak tempuh 100 mm. Data akan disajikan dalam tiga grafik yaitu grafik posisi terhadap waktu, posisi error terhadap waktu dan kecepatan terhadap waktu. Untuk pengambilan data digunakan software NScope ver. 2.19.0 yang telah disediakan oleh aerotech. GUI dari Nscope dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: GUI NScope

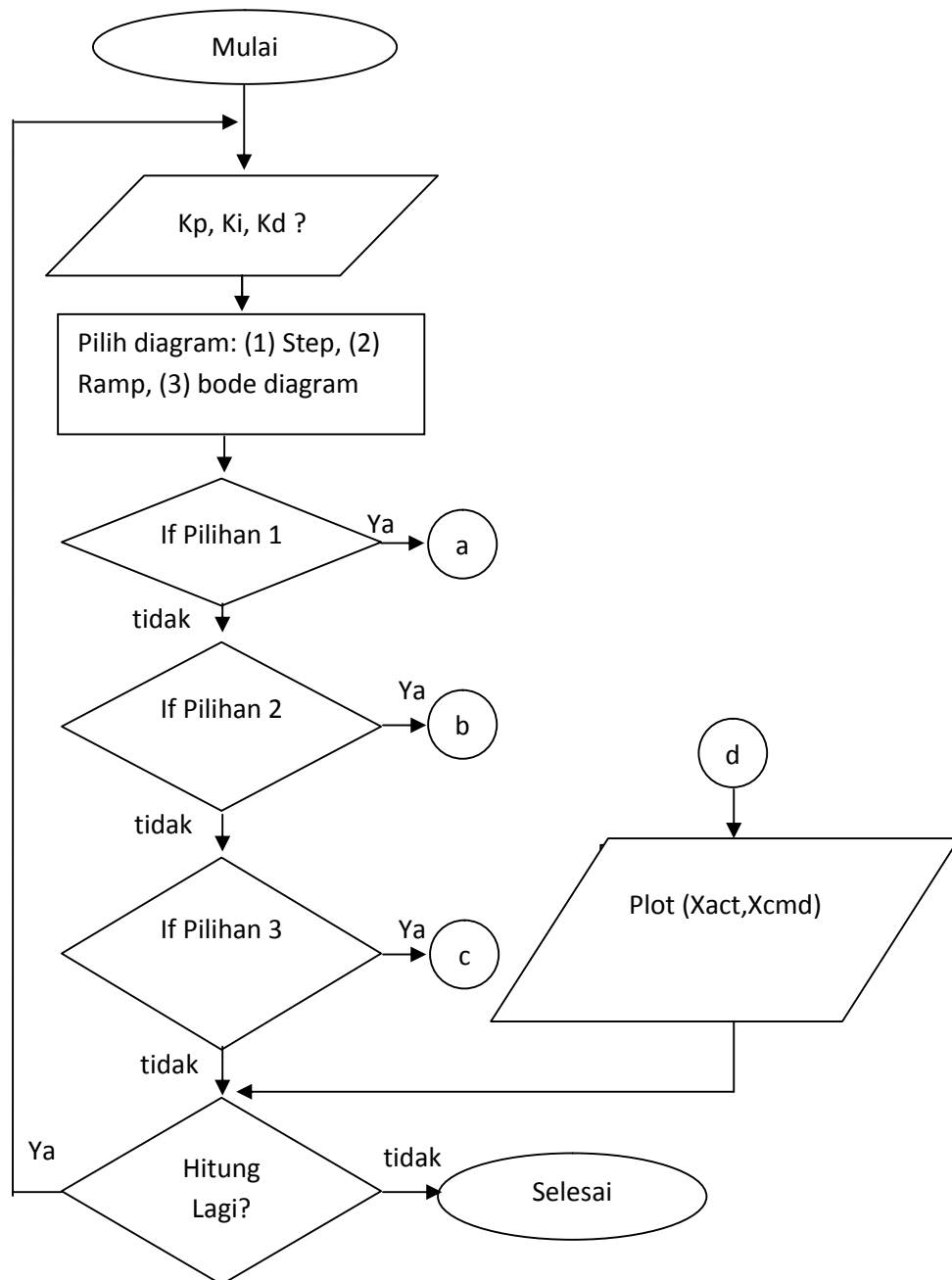
### 3.3.2. Pengambilan Data Simulasi Numerik

Pengujian Simulasi menggunakan aplikasi komputasi, dengan aplikasi ini akan dilihat diagram terhadap masukan Step, ramp dan frekuensi. Program akan dirancang untuk menghitung sesuai dengan model matematika dinamis dari sistem yang telah dipaparkan di BAB II. Adapun diagram alir program adalah sebagai berikut.

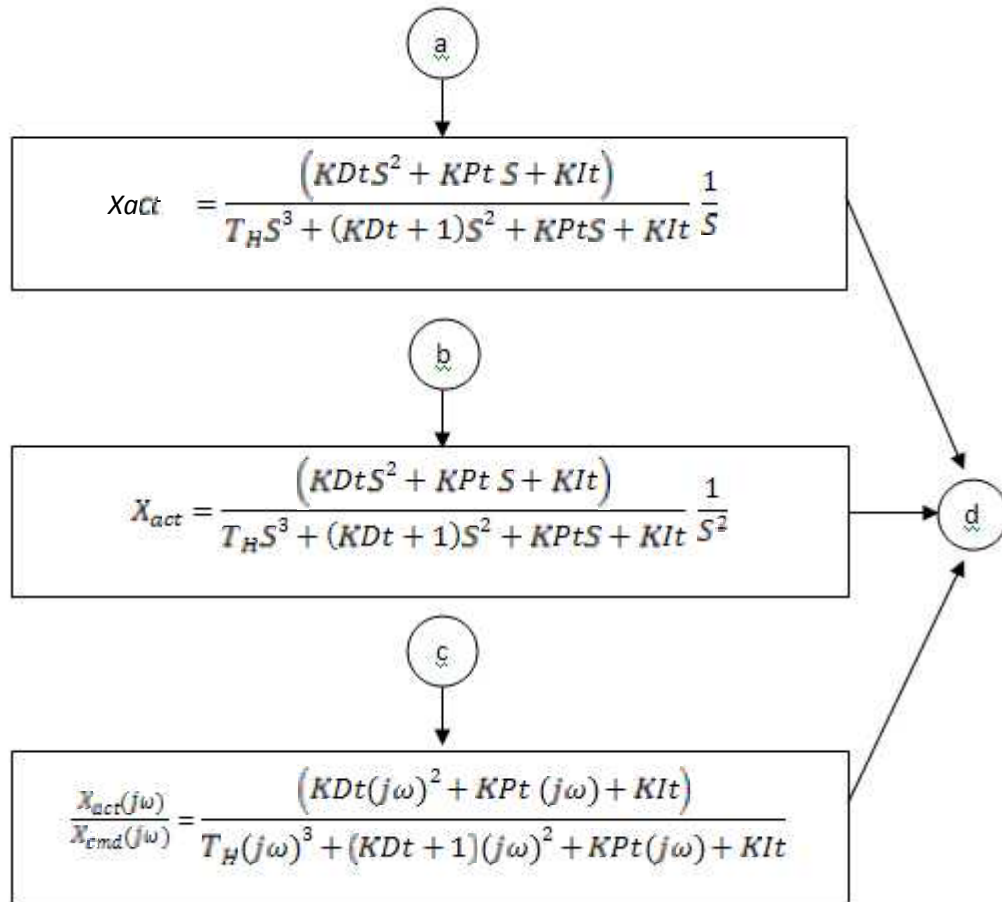


Gambar 3.4: Diagram Alir Program Simulasi Numerik

Mengingat keterbatasan kemampuan notebook yang digunakan untuk menjalankan program sehingga didapatkan nilai diagram step, ramp, dan bode ditampilkan secara bersamaan, maka dalam skripsi ini digunakan diagram alir alternatif untuk menunjang kemampuan PC. Dimana diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5 ini akan menampilkan tiga diagram masukan sistem satu persatu.

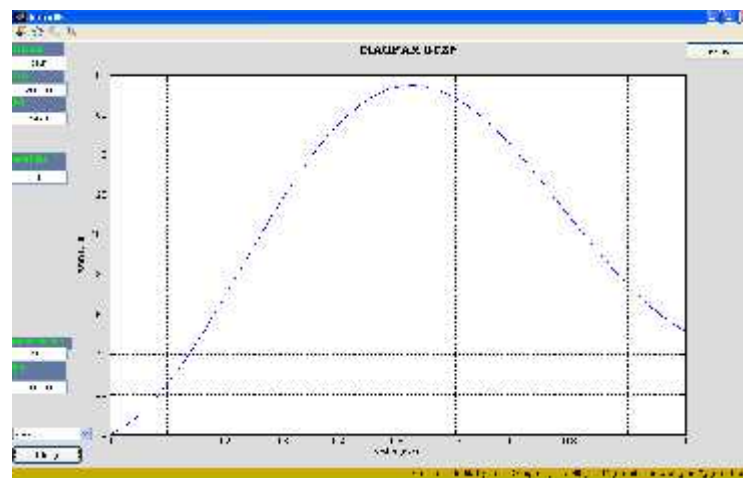


Gambar 3.5: Diagram Alir Program Simulasi Numerik Alternatif



Gambar 3.6: Lanjutan Diagram Alir Program

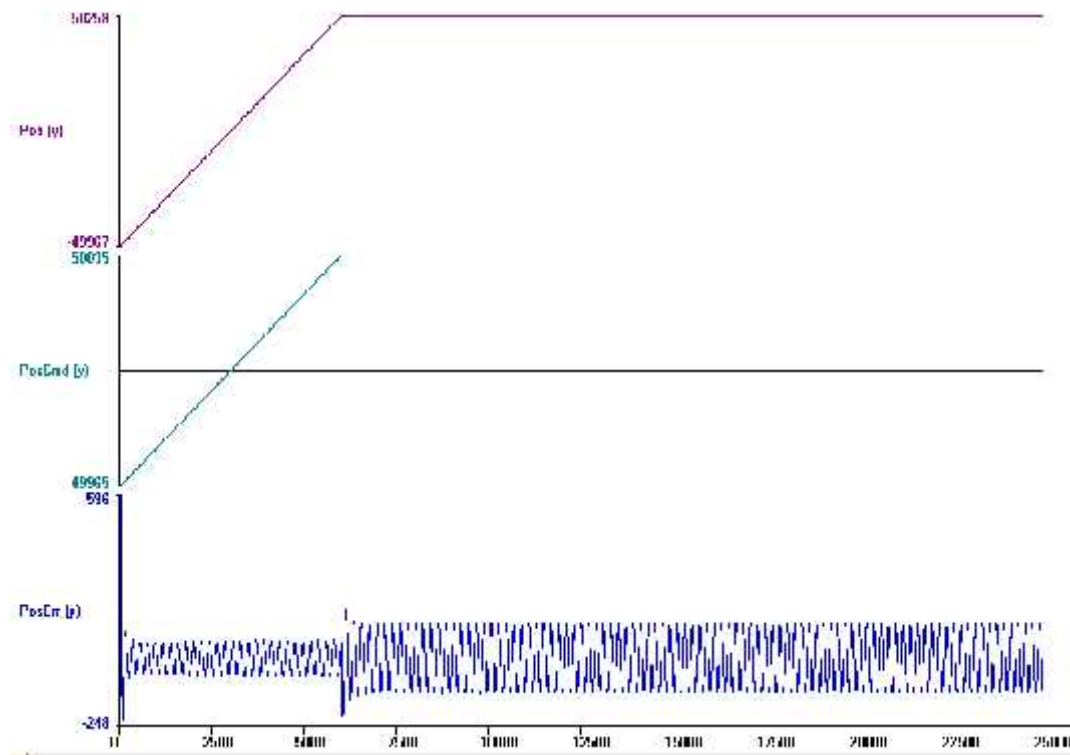
Dari diagram alir diatas kemudian dibuat programnya.sebagai bahan analisa percobaan simulasi. Dengan tampilan GUI terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.7 : Tampilan GUI Program Simulasi Numerik.

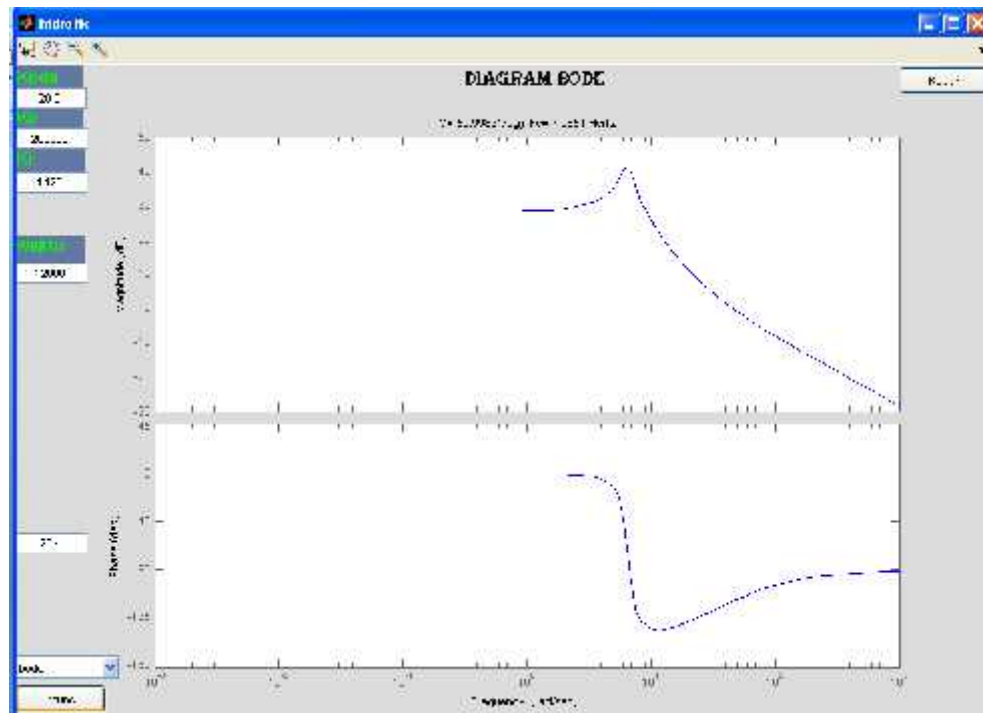
### 3.3.3. Penentuan Nilai Th (Konstanta Waktu Hidrolik)

Proses *autotuning* merupakan program *utility* dari *aerotech A3200*. Dimana proses ini membuat sistem bekerja pada *phase margin* (PM) =  $60^0$ . Dari percobaan eksperimental didapat  $K_{pos}=28.5$ ,  $K_p=200.000$  dan  $K_i= 1420$ . Gambar 3.7 menunjukkan grafik respon masukan terhadap keluaran.



Gambar 3.7. Hasil Eksperimen Proses *Autotuning*

Dari hasil *autotuning* ini nilai Th (konstanta waktu hidrolik) dapat diketahui dari persamaan 2.12 menggunakan grafik bode. Pendekatan ini dilakukan dengan cara menemukan nilai PM dari grafik bode persamaan 2.21 yang mendekati nilai PM hasil eksperimen menggunakan *autotuning*. Dari pendekatan ini didapatkan nilai Th sebesar 133451. Gambar 3.8 menunjukkan diagram bode



Gambar 4.8: Hasil simulasi numerik dengan variable *autotuning*

Variabel kontrol  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_{ps}$  dibuat sama dengan variable proses autotuning. Nilai PM ditentukan dengan mengubah nilai  $T_h$  hingga mendapat nilai PM sebesar  $60^\circ$ . Nilai  $T_h$  inilah nantinya akan digunakan pada simulasi numerik.